ระบบการจัดการพลังงานไฟฟ้าร่วมกับพลังงานแสงอาทิตย์เพื่อลดการใช้พลังงานตามอัตราช่วงเวลาของการใช้งาน

A system for Managing Electrical Energy in Combination with Solar Energy to Reduce Energy Consumption Based on Time-of-Use Rates

นิวดี คลังสีดา[1] กรวิชญ์ เจริญสุข[1] ภาคิณ มณีโชติ[1] เทพ เกื้อทวีกุล และ วิทยา ยาตรา[1*]

Nivadee Klungsida1, Konrawait Charoensuk[1], Pakin Maneechot[1] Thep kueathaweekun[1] and Witthaya Yatra[1*],

[1]สาขาเทคโนโลยีพลังงาน คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร กำแพงเพชร 62000

[1]Energy Technology Faculty of Industrial Technology Kamphaeng Phet Rajabhat University Kamphaeng Phet 62000.

[*]Corresponding author: Tel.: 0957358174. E-mail address: witthaya300644@gmail.com

Received: 12 June 2024, Revised: 24 June 2024, Accepted: 23 December 2024, Published online: 30 December 2024

Abstract

This study aims to design and develop an energy management system integrated with solar energy to reduce electricity consumption during TOU (Time of Use) periods. The experiment focused on energy usage during peak hours (9:00 AM - 10:00 PM) and off-peak hours (10:00 PM - 9:00 AM) by utilizing electricity generated from solar panels. The research was conducted at Kamphaeng Phet Rajabhat University, which uses a TOU electricity meter. The electricity rate for peak hours is 5.7 THB per unit, while off-peak hours cost 2.6 THB per unit.

The study tested two light bulbs, a 9-watt and a 100-watt bulb, operating both during 9:00 AM - 12:00 PM and 1:00 PM - 4:00 PM. The lights were switched off between 12:00 PM - 1:00 PM and 4:00 PM - 6:00 PM. After 6:00 PM until 6:00 AM, only the 9-watt bulb was used. The system monitored battery voltage, charging it when the voltage dropped below 11.9 volts and stopping when it reached 12.9 volts. Solar power was used from 9:00 AM to 10:00 PM on weekdays, while grid electricity was utilized from 10:00 PM on Fridays to 9:00 AM on Mondays. Additionally, the system allowed remote control of electricity through an online mobile application.

The results from a three-month performance test showed that the hybrid solar system reduced electricity consumption by 76.53%. Furthermore, integrating the energy management system with solar power achieved an additional reduction in electricity costs of 22.32%. The system demonstrated financial feasibility, with a payback period of 2.14 years, a benefit-cost ratio of 3.54, and a net present value of

63,647.70 THB. The internal rate of return (IRR) was 46.97%, significantly exceeding the 6.6% financing interest rate.

This research highlights the potential of renewable energy applications in daily life to effectively reduce electricity costs and promote sustainability. It serves as a valuable model for integrating renewable energy technologies into energy systems, contributing to environmentally friendly and sustainable energy solutions for the future.

Keywords: Energy Management System, Solar Energy, Time of Use (TOU), Hybrid System

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อออกแบบและพัฒนาระบบจัดการพลังงานไฟฟ้าร่วมกับพลังงานแสงอาทิตย์เพื่อลดการใช้พลังงานตามช่วงเวลา TOU (Time of Use) โดยทำการทดลองในช่วงเวลา peak (09:00-22:00 น.) และ off-peak (22:00-09:00 น.) โดยใช้ไฟฟ้าจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ผู้วิจัยได้ทำการจำลองการใช้งานโดยทั่วไปของการใช้ไฟฟ้าในช่วงเวลา peak และ off-peak โดยพบว่ามหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชรใช้มิเตอร์ไฟฟ้า TOU ซึ่งมีอัตราค่าบริการในช่วง peak ที่ 5.7 บาทต่อหน่วย และช่วง off-peak ที่ 2.6 บาทต่อหน่วย ในการทดลองใช้งานได้ทำการทดลองกับหลอดไฟขนาด 9 วัตต์ และ 100 วัตต์ เปิดหลอดไฟทั้งสองหลอดในช่วงเวลา 09:00-12:00 น. และ 13:00-16:00 น. ปิดหลอดไฟทั้งสองในเวลา 12:00-13:00 น. และ 16:00-18:00 น. หลังช่วงเวลา 18:00-06:00 น. จะทดสอบเปิดหลอดไฟขนาด 9 วัตต์เพียงหลอดเดียว นอกจากนี้ระบบยังมีการตรวจวัดแรงดันของแบตเตอรี่ และจะทำการชาร์จพลังงานไฟฟ้าเมื่อแรงดันต่ำกว่า 11.9 โวลต์ และหยุดการชาร์จเมื่อแรงดันแบตเตอรี่สูงถึง 12.9 โวลต์ ระบบเปิดใช้งานไฟฟ้าจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ในช่วงเวลา 09:00 น. ถึง 22:00 น. ในวันจันทร์ถึงศุกร์ และเปิดใช้งานไฟฟ้าจาก PEA ในช่วงเวลา 22:00 น. ในวันศุกร์ถึงวันจันทร์เวลา 09:00 น. ระบบยังสามารถควบคุมการเปิด-ปิดไฟฟ้าผ่านทางมือถือได้แบบออนไลน์ จากผลการทดสอบประสิทธิภาพการผลิตไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ระบบไฮบริดเฉลี่ย 3 เดือนสามารถสรุปได้ว่าแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ระบบไฮบริดช่วยลดการใช้ไฟฟ้าลง 76.53 % และจากผลการทดสอบประสิทธิภาพระบบการจัดการพลังงานไฟฟ้าร่วมกับพลังงานแสงอาทิตย์เพื่อลดการใช้พลังงานตามอัตราช่วงเวลาของการใช้งาน (TOU) พบว่า ถ้ามีระบบการจัดการพลังงานไฟฟ้าร่วมกันร่วมกับพลังงานแสงอาทิตย์เพื่อลดการใช้พลังงานตามอัตราช่วงเวลาของการใช้งาน(TOU) จะทำให้ลดค่าไฟฟ้าลงอีก 22.32 % นำเสนอผลลัพธ์ที่ดีในการลดค่าใช้จ่ายในการใช้ไฟฟ้าอีกทั้งยัง สามารถคืนทุน ภายใน 2.20 ปี อัตราส่วนผลตอบแทนต่อต้นทุน 3.46 มูลค่าปัจจุบันของผลตอบแทนสุทธิ 61,803.23 บาท อัตราส่วนผลตอบแทนภายในโครงการ 46.21 % ซึ่งสูงกว่าอัตราดอกเบี้ยเงินทุน 6.6% จึงเป็นตัวอย่างที่ดีในการประยุกต์ใช้พลังงานทดแทนในชีวิตประจำวันและการผลิตพลังงานไฟฟ้าในประเทศ การวิจัยนี้มีความสำคัญในการพัฒนาระบบพลังงานที่ยั่งยืนและเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมในอนาคต และเป็นแนวทางที่ดีในการใช้เทคโนโลยีทดแทนในการผลิตพลังงานไฟฟ้าในประเทศ และสามารถนำไปใช้ประโยชน์ในการพัฒนาระบบพลังงานในอนาคตได้อย่างดี

คำสำคัญ : ระบบบริหารจัดการพลังงาน, พลังงานแสงอาทิตย์, อัตราค่าไฟฟ้าตามช่วงเวลา, ระบบไฮบริด

บทนำ

ปัจจุบันประเทศไทยได้นำเข้าพลังงานไฟฟ้าจากประเทศเพื่อนบ้านและประเทศในภูมิภาคเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ เช่น ประเทศลาว กัมพูชา และมาเลเซียเพื่อใช้สำหรับครัวเรือนและในภาคอุตสาหกรรม ซึ่งการนำเข้าไฟฟ้าเกิดขึ้นเมื่อความต้องการใช้พลังงานไฟฟ้าเพิ่มมากขึ้น เพื่อรองรับปริมาณการใช้งานไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้น การนำเข้าพลังงานไฟฟ้าช่วยเสริมความมั่นคงในการจ่ายไฟฟ้าและลดการผลิตไฟฟ้าจากแหล่งพลังงานที่มีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม เช่น โรงไฟฟ้าถ่านหิน นอกจากนี้ยังมีโรงไฟฟ้าพลังงานน้ำช่วยเสริมระบบในช่วง Peak และไม่มีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม อย่างไรก็ตามความมั่นคงทางพลังงานของประเทศนั้นมีความสำคัญเป็นอย่างมาก การใช้พลังงานทดแทนเพื่อนำมาใช้เป็นพลังงานสำรองจึงมีความสำคัญเป็นอย่างมากโดยเฉพาะพลังงานแสงอาทิตย์ เนื่องจากเป็นพลังงานหมุนเวียนที่ใช้แล้วไม่มีวันหมด ดังนั้นจึงหลายท่านได้ศึกษาและทำการวิจัยการใช้พลังงานทดแทนมาช่วยในการผลิตพลังงานไฟฟ้า [1] โดยได้ศึกษาเรื่องแหล่งจ่ายไฟร่วมโดยเซลล์เชื้อเพลิง แผงเซลล์แสงอาทิตย์ กังหันลมและแบตเตอรี่ พบว่างานวิจัยนี้นำเสนอโรงไฟฟ้าจากพลังงานทดแทน ความพร้อมของพลังงานทดแทนและพลังงานที่มีประสิทธิภาพยังไม่ค่อยมีการพัฒนาอย่างเพียงพอในประเทศไทย ทำให้ยังต้องพึ่งพาการนำเข้าไฟฟ้าจากแหล่งอื่นและ ความยากลำบากในการสร้างโครงสร้างพื้นฐาน [2] ได้ศึกษาเครื่องกำเนิดไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ขนาดเล็กที่มีโหลดทางไฟฟ้า เราจะสามารถเห็นตามบางบ้านเรือนที่มีแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ติดตั้งอยู่เพราะใช้เพื่อเข้ามาลดค่าไฟฟ้าเป็นส่วนใหญ่ [3] โดยได้ศึกษาพัฒนาระบบผลิตกระแสไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์แรงดันสูงควบคุมระยะไกล สำหรับลดค่ากระแสไฟฟ้าในครัวเรือน และศึกษาวิเคราะห์ปริมาณกระแสไฟฟ้าที่ผลิตได้ในแต่ละช่วงเวลา [4] โดยได้ศึกษาพัฒนาระบบสาธิตผลิตกระแสไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์สำหรับชุมชนฐานรากระดับครัวเรือน ความเหมาะสมต่อการเก็บประจุไฟฟ้าให้เพียงพอกับการต้องการ[5] และ ศึกษาการพัฒนาสมาร์ตมิเตอร์สำหรับการใช้ในการจัดการพลังงานไฟฟ้าที่สามารถบริหารจัดการการใช้พลังงานไฟฟ้าของเครื่องใช้ไฟฟ้าต่างๆ การส่งเสริมการใช้พลังงานทดแทน [6-8] และการนำเข้าไฟฟ้าจากแหล่งที่มีความมั่นคง เพื่อเพิ่มความมั่นคงในการผลิตและจ่ายไฟฟ้าในประเทศไทย ซึ่งมหาลัยราชภัฏกำแพงเพชรใช้มิเตอร์ไฟฟ้าแบบ TOU มหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร เป็นหน่วยงานที่ใช้ไฟฟ้าสูงอย่างต่อเนื่องโดยดูจากค่าไฟฟ้าที่มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น การดำเนินการเพื่อลดค่าไฟฟ้ามีการปฏิบัติอย่างต่อเนื่องแต่มีอีกหลายปัจจัยที่ไม่สามารถลดค่าไฟฟ้าได้ตามเป้าหมาย

จากปัญหาที่กล่าวมาข้างต้น ผู้วิจัยได้พัฒนาระบบการจัดการพลังงานไฟฟ้าที่ผสานการทำงานร่วมกับพลังงานแสงอาทิตย์ ระบบนี้มีหน้าที่จัดการไฟฟ้าที่ผลิตจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ให้มีประสิทธิภาพสูงสุด โดยมีกระบวนการตรวจวัดแรงดันของแบตเตอรี่เพื่อควบคุมการชาร์จไฟฟ้าอย่างเหมาะสม ทั้งนี้เพื่อรักษาค่า DOD (Depth of Discharge) ของแบตเตอรี่ซึ่งช่วยยืดอายุการใช้งานให้นานขึ้น จุดเด่นของระบบนี้คือการช่วยลดค่าใช้จ่ายด้านไฟฟ้าที่เกิดขึ้นในช่วงเวลา Peak ของ TOU (Time of Use) ซึ่งเป็นช่วงเวลาที่ค่าไฟฟ้ามีราคาสูง เนื่องจากในช่วงนี้ประเทศมีความต้องการใช้ไฟฟ้าสูงมาก ช่วงเวลา Off-Peak เป็นช่วงที่ค่าไฟฟ้ามีราคา เนื่องจากความต้องการใช้ไฟฟ้าลดลง

ด้วยเหตุนี้ ผู้วิจัยจึงเลือกใช้พลังงานจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ในช่วงเวลา Peak เพื่อช่วยลดค่าไฟฟ้าที่เกิดขึ้นจากการใช้พลังงานไฟฟ้าจากระบบหลัก นอกจากจะช่วยประหยัดค่าใช้จ่ายแล้ว ระบบนี้ยังช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการใช้พลังงาน และเป็นแนวทางสำคัญในการพัฒนาการจัดการพลังงานในอนาคต

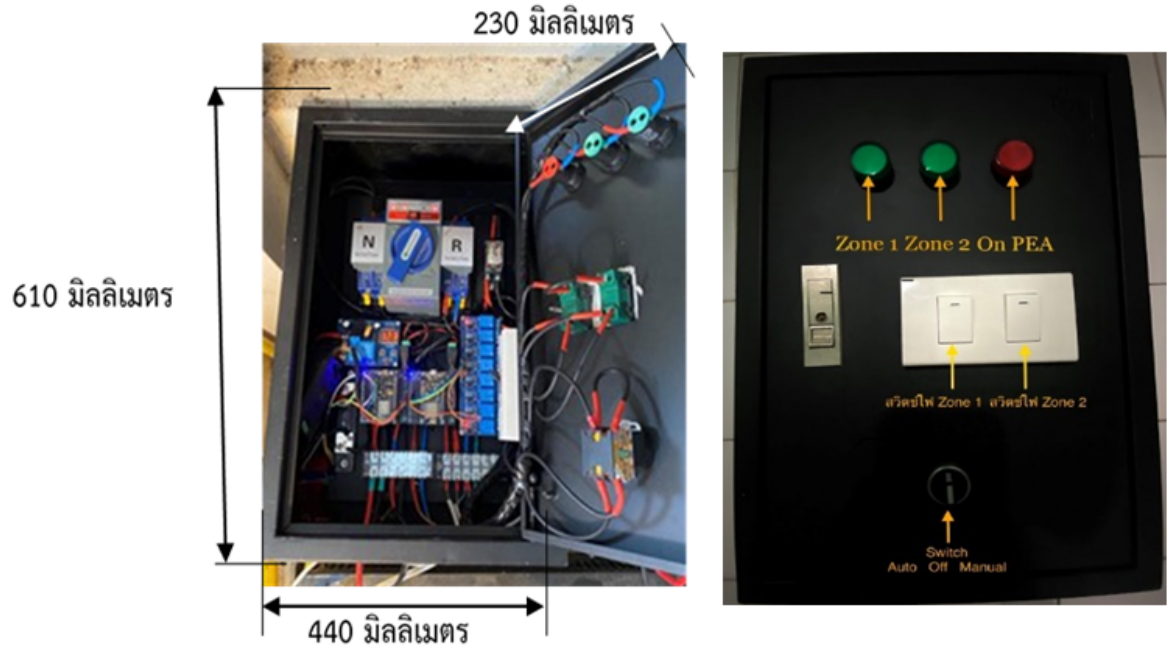
วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1. ออกแบบและสร้างระบบการจัดการพลังงานไฟฟ้าร่วมกับพลังงานแสงอาทิตย์เพื่อลดการใช้พลังงานตามอัตราช่วงเวลาของการใช้งาน (TOU)

2. ศึกษาความคุ้มค่าในการใช้พลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับการใช้พลังงานไฟฟ้าจากสายส่งเพื่อลดการใช้พลังงานตามอัตราช่วงเวลาของการใช้งาน (TOU)

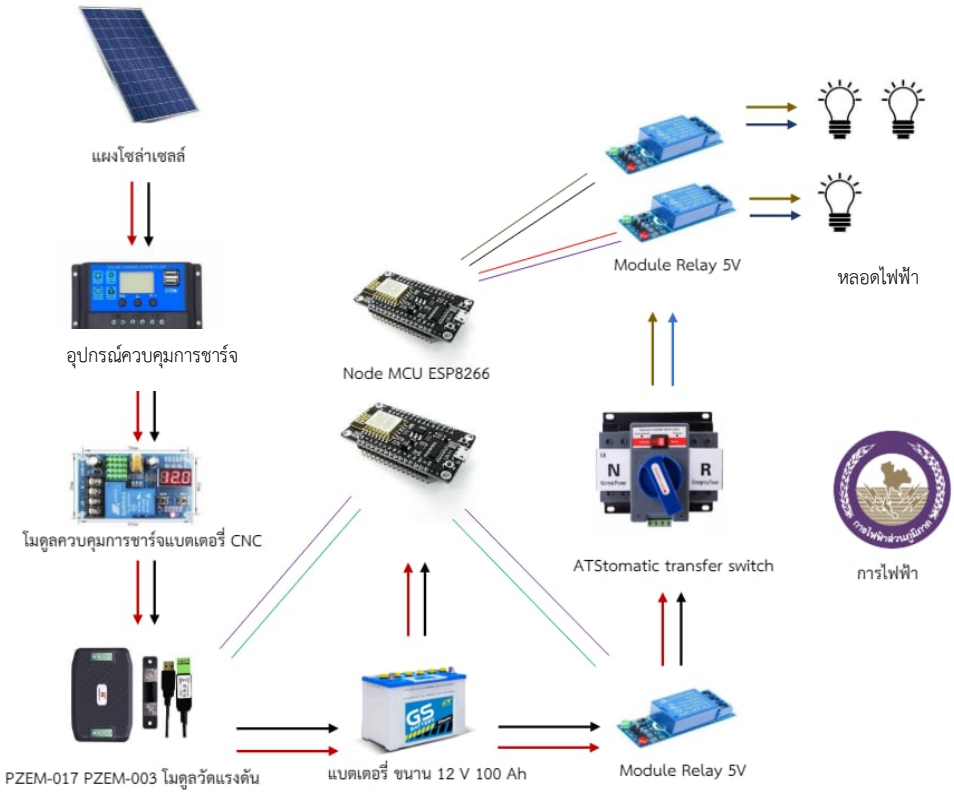
วิธีการดำเนินการวิจัย

1. ศึกษาเอกสารและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง
2. ออกแบบและสร้างระบบการจัดการพลังงานไฟฟ้าร่วมกับพลังงานแสงอาทิตย์เพื่อลดการใช้พลังงานตามอัตราช่วงเวลาของการใช้งาน (TOU) ได้มีการออกแบบ Flow Chart ในการวางรูปแบบและวางโครงสร้างของระบบ
3. ทดสอบหาประสิทธิภาพการใช้งานระบบการจัดการพลังงานไฟฟ้าร่วมกับพลังงานแสงอาทิตย์เพื่อลดการใช้พลังงานตามอัตราช่วงเวลาของการใช้งาน (TOU) ในการทดลองใช้งานได้ทำการทดลองกับหลอดไฟขนาด 100 วัตต์ และ 9 วัตต์ อย่างละ 1 หลอดเพื่อนำไปใช้ในการทดลอง และเปรียบเทียบการลดค่าไฟฟ้าระหว่างการใช้งานแบบปกติกับการใช้งานกับระบบการจัดการพลังงานไฟฟ้าร่วมกับพลังงานแสงอาทิตย์เพื่อลดการใช้พลังงานตามอัตราช่วงเวลาของการใช้งาน (TOU) ว่ามีการลดค่าไฟฟ้าได้ ณ สวนพลังงาน มหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร จังหวัดกำแพงเพชร
4. เก็บข้อมูลระบบการจัดการพลังงานไฟฟ้าร่วมกับพลังงานแสงอาทิตย์เพื่อลดการใช้พลังงานตามอัตราช่วงเวลาของการใช้งาน (TOU) แรงดันไฟฟ้าที่แบตเตอรี่เพื่อตรวจเช็คแรงดันการทำงานของแบตเตอรี่ในระบบ และกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านตัวนำจากแบตเตอรี่และกระแสรวมในระบบ
5. วิเคราะห์ข้อมูลและสรุปผลการวิจัย วิเคราะห์ผลจากตารางการเปรียบเทียบค่าไฟที่สามารถลดได้เป็นร้อยละ

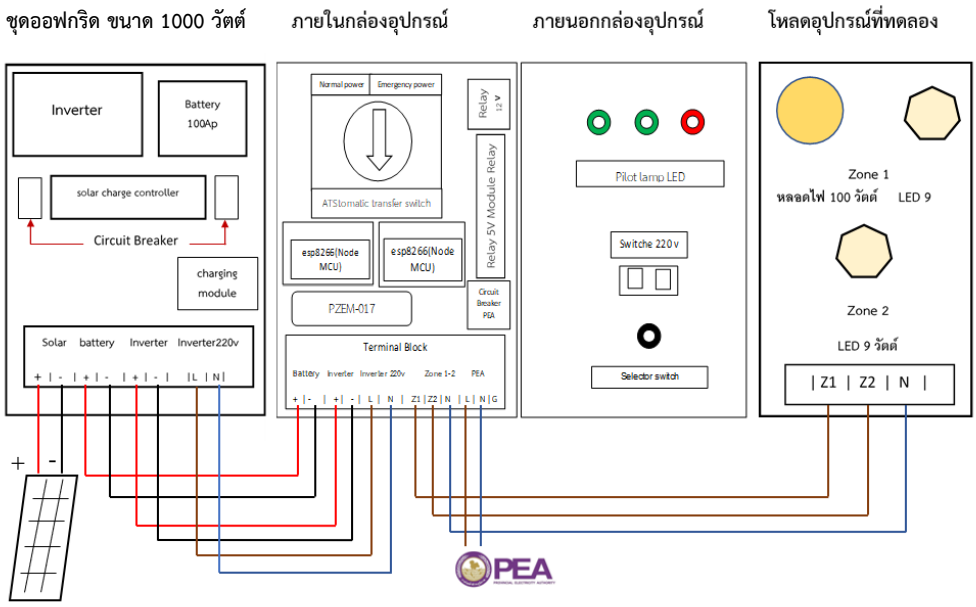


ภาพที่ 1 โครงสร้างตู้ระบบการจัดการพลังงานไฟฟ้าร่วมกับพลังงานแสงอาทิตย์เพื่อลดการใช้พลังงานตามอัตราช่วงเวลาของการใช้งาน (TOU)

ภาพที่ 2 ระบบควบคุมการชาร์จผ่านโมดูลเพื่อรักษาแบตเตอรี่



ภาพที่ 3 ระบบควบคุมการทำงานอัตโนมัติเพื่อการใช้ไฟฟ้าตามช่วงเวลที่กำหนดไว้



ภาพที่ 4 โครงสร้างการต่ออุปกรณ์และอุปกรณ์ควบคุมการทำงานระบบการจัดการพลังงานไฟฟ้าร่วมกับพลังงานแสงอาทิตย์เพื่อลดการใช้พลังงานตามอัตราช่วงเวลาของการใช้งาน (TOU)

จากภาพอธิบายได้ว่าเป็นหลักการทำงานที่นำเอาไฟฟ้าที่ผลิตได้จากเซลล์แสงอาทิตย์มาผ่านอุปกรณ์ควบคุมการชาร์จเพื่อไปยังโมดูลควบคุมการชาร์จแบตเตอรี่ไปที่โมดูลการวัดแรงดันเพื่อตรวจวัดแรงดันที่ใช้จากแบตเตอรี่ก่อนส่งไปเก็บยังตัวแบตเตอรี่และส่งผ่านอุปกรณ์รีเลย์ที่ทำหน้าที่เปิด-ปิดการใช้งานของแบตเตอรี่ จากนั้นส่งไปยังเครื่องแปลงกระแสไฟฟ้าเพื่อเปลี่ยนกระแสไฟฟ้าจากกระแสตรงเป็นกระแสสลับเพื่อใช้งานไฟฟ้าในแรงดัน 220 โวลต์ และผ่านสวิตช์สลับทางการใช้ไฟฟ้าที่มีไฟจากการไฟฟ้ามารอตอนที่แบตเตอรี่ไม่เพียงพอจะสลับไปใช้งานไฟฟ้าจากการไฟฟ้าทันที

ในการการทดสอบแบ่งออกเป็น 3 ส่วน คือการทดสอบและหาประสิทธิภาพระบบการจัดการพลังงานไฟฟ้าร่วมกับพลังงานแสงอาทิตย์เพื่อลดการใช้พลังงานตามอัตราช่วงเวลาของการใช้งาน (TOU) โดยมีโครงสร้างของตู้ควบคุม และมีใช้งานร่วมกับชุดออฟกริดขนาด 1,000 วัตต์ ประกอบไปด้วยแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ขนาด 340 วัตต์ 1 แผง ตัวควบคุมการชาร์จ และแบตเตอรี่ 100 แอมป์ ที่มีการควบคุมเวลาปิดเปิดอัตโนมัติต้นแบบขึ้นแสดงดังภาพที่ 1 ระบบควบคุมการชาร์จผ่านโมดูลเพื่อรักษาแบตเตอรี่ ภาพที่ 2 ระบบควบคุมการทำงานอัตโนมัติเพื่อการใช้ไฟฟ้าตามช่วงเวลาที่กำหนดไว้ได้อย่างมีประสิทธิภาพภาพที่ 3 ตามลำดับและเมื่อทุกส่วนประกอบกันแล้วจะเป็นดัง ภาพที่ 4

6. ศึกษาความคุ้มค่าในการใช้พลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับการใช้พลังงานไฟฟ้าเพื่อลดการใช้พลังงานตามอัตราช่วงเวลาของการใช้งาน (TOU)

อัตราส่วนผลตอบแทนต่อต้นทุนโครงการ (Benefit-cost Ratio: B/C Ratio) เป็นอัตราเปรียบเทียบระหว่างราคาปัจจุบันของผลตอบแทนของต้นทุนซึ่งหากมีค่ามากกว่า 1 แสดงว่ามีผลตอบแทนเกินกว่าเงินที่ลงทุน ดังสมการ

$$PVB = \sum_{(t=1)}^{n} \frac{B_t}{(1+r)^t}$$

$$PVC = \sum_{(t=1)}^{n} \frac{C_t}{(1+r)^t}$$

$$\frac{B}{C} Ratio = \frac{PVB}{PVC} = \frac{\sum_{(t=1)}^{n} \frac{B_t}{(1+r)^t}}{\sum_{(t=1)}^{n} \frac{C_t}{(1+r)^t}}$$

กำหนดให้

B_t คือ ผลประโยชน์ของโครงการในปีที่ t

C_t คือ ค่าใช้จ่ายของโครงการในปีที่ t

t คือ ปีของโครงการมีค่าตั้งแต่ 1 ถึง n

r คือ อัตราคิดลด (Discount rate)

PVB คือ มูลค่าปัจจุบันของผลตอบแทน

n คือ อายุของโครงการ (Project Lifetime)

PVC คือ มูลค่าปัจจุบันของต้นทุน

มูลค่าปัจจุบันของผลตอบแทนสุทธิ (Net Present Value: NPV) เป็นการนำกระแสเงินสดสุทธิที่ได้รับในแต่ละปีมาคำนวณหาค่าสุทธิปัจจุบัน ซึ่งเกิดจากกำไรที่เกิดขึ้นก่อนหักค่าดอกเบี้ยและภาษี ในการคำนวณเปรียบเทียบผลรวมที่ได้เทียบกับเงินลงทุนครั้งแรกว่ามีค่าเป็นบวกหรือมากกว่า

$$NPV = PVB - PVC$$

กำหนดให้ NPV คือ มูลค่าปัจจุบันของผลประโยชน์สุทธิจากโครงการ

อัตราผลตอบแทนภายในโครงการ (Internet Rate of Return: IRR) เป็นการหาผลตอบแทนเป็นร้อยละที่ทำให้มูลค่าปัจจุบันสุทธิของโครงการตั้งแต่เริ่มจนกระทั่งสิ้นสุดระยะเวลาโครงการมีค่าเท่ากับมูลค่าปัจจุบันสุทธิของต้นทุนอัตราส□วนนี้แสดงให□เห็นถึงผลตอบแทนที่จะได้รับจากการลงทุนว□ามีผลตอบแทนเป็นร้อยละเท่าไหร

$$\sum_{t=1}^{n} \frac{B_t - C_t}{(1 - IRR)^t} = 0$$

กำหนดให้ IRR คือ อัตราส่วนผลตอบแทนภายในการดำเนินงาน

ระยะเวลาคืนทุนโครงการ (Payback Period: PBP) คือจำนวนปีในการดำเนินการที่ทำให้ผลตอบแทนสุทธิเฉลี่ยต่อปีมีค่ารวมกันเท่ากับเงินลงทุนเริ่มแรก

$$\text{ระยะเวลาคืนทุน} = \frac{\text{เงินลงทุนเริ่มแรก}}{\text{ผลประโยชน์สุทธิเฉลี่ยต่อปี}}$$

ผลการวิจัยและอภิปรายผลการวิจัย

ผลการวิจัยระบบการจัดการพลังงานไฟฟ้าร่วมกับพลังงานแสงอาทิตย์เพื่อลดการใช้พลังงานตามอัตราช่วงเวลาของการใช้งาน (TOU)

ในการทดสอบใช้งานได้ทำการทดลองกับหลอดไฟขนาด 100 วัตต์ จำนวน 1 หลอด และขนาด 9 วัตต์ จำนวน 1 หลอด และเปิดใช้งานในช่วงเวลา 09:00 น. หลอดไฟทั้งสองจะติดและต่อไปจนถึง 12:00 น. หลอดไฟทั้งสองจะดับ และทดลองต่อไปในช่วงเวลา 13:00 - 16:00 น. ทั้งสองหลอดจะติดและหลอดไฟ 9 วัตต์จะติดตั้งตั้งแต่ 18:00 - 6.00 น.จากเวลาที่กำหนดทำให้มีการเปิดปิดตามช่วงเวลาได้ตามปกติและส่งผลทำให้มีการใช้งานไฟจากแบตเตอรี่มากกว่าการใช้งานไฟฟ้าจากการไฟฟ้า ผู้วิจัยได้ออกแบบตารางเก็บผลแรงดันของแบตเตอรี่ที่ได้จากระบบพลังงานแสงอาทิตย์ โดยเก็บค่าแรงดันเพื่อดูว่าประสิทธิภาพ เพื่อทดลองการปิดเปิดของไฟฟ้าที่ผู้วิจัยได้กำหนดเวลาการใช้ไฟฟ้าของระบบพลังงานแสงอาทิตย์และเมื่อถึงเวลาที่กำหนดระบบที่ตั้งไว้จะกลับไปใช้ไฟฟ้าตามปกติ

ตารางที่ 1 ช่วงเวลาการไฟฟ้าที่กำหนดโดยการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค (PEA) โดยได้กำหนดอัตราค่าไฟฟ้า TOUและช่วงเวลาการใช้พลังงานแสงอาทิตย์

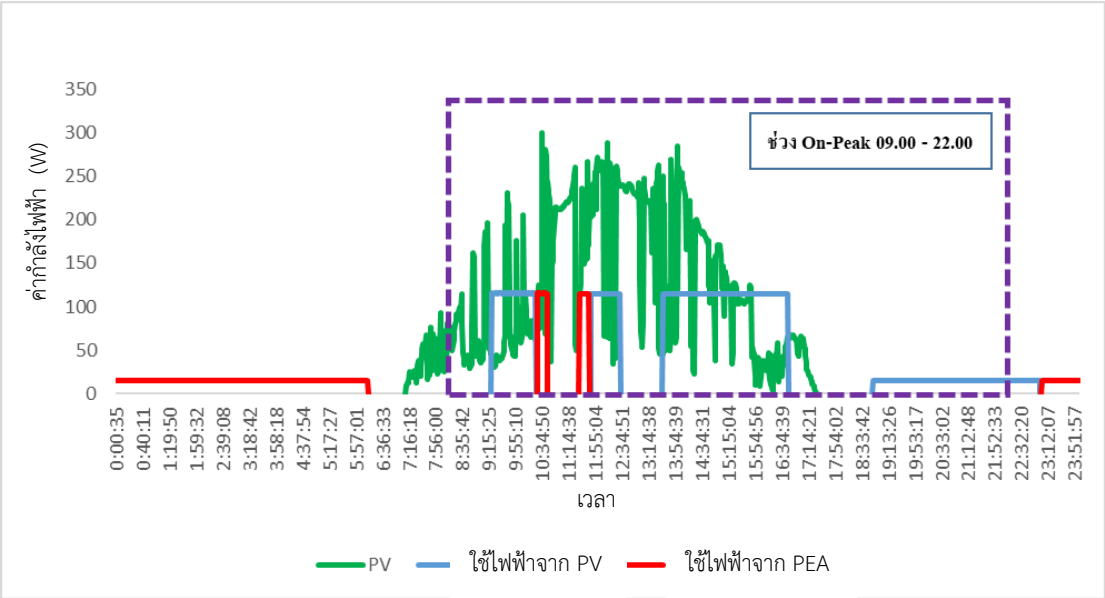
ช่วงเวลา	Peak (09:00 - 22:00 น) จันทร์-ศุกร์ และวันพืชมงคล)	Off Peak (22:00 - 09:00 น.) จันทร์-ศุกร์ และวันพืชมงคล)	วันหยุด (00:00 - 24:00 น.) เสาร์ – อาทิตย์ และวันหยุดราชการตามปกติ
ใช้ไฟฟ้าจากการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค (PEA)		√	√
ใช้ไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์	√		

ตารางที่ 1 แสดงช่วงเวลาการไฟฟ้าที่กำหนดโดยการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค (PEA) โดยได้กำหนดอัตราค่าไฟฟ้า TOU ตามรูปแบบของการใช้ไฟฟ้าซึ่งมหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร อยู่ในประเภทที่ 4 โดยกำหนดไว้ 3 ช่วงตามอัตรา TOU คือ ช่วง P (PEAK) ระหว่างเวลา 09:00 น. - 22:00 น. วันจันทร์ถึงวันศุกร์ที่ และวันพืชมงคล ช่วง OP (OFF PEAK) ระหว่างเวลา 22:00 - 09:00 น. วันจันทร์ถึงวันศุกร์ และวันพืชมงคล และช่วงวันหยุด ระหว่างเวลา 00:00 - 24:00 น. ของวันเสาร์ วันอาทิตย์และวันแรงงานแห่งชาติ, วันพืชมงคลที่ตรงกับวันเสาร์ – อาทิตย์ และวันหยุดราชการตามปกติ (ไม่รวมวันหยุดชดเชย) โดยจะทำการศึกษาและเก็บข้อมูลโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับพลังงานไฟฟ้าจาก PEA โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อช่วยลดการใช้พลังงานไฟฟ้า

ตารางที่ 2 พฤติกรรมการใช้งานหลอดไฟใน 1 วัน

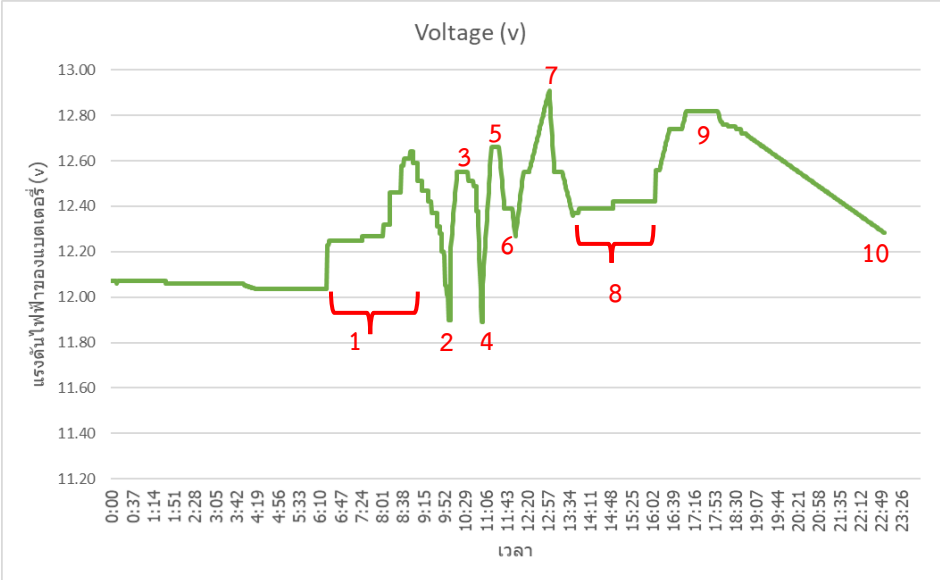
หลอดไฟ	09:00 - 11:59 น.	12:00 – 13:00 น.	13:01 – 17:59 น.	18:00 – 05:59 น.	06:00 - 08:59 น.
100 วัตต์	เปิด	ปิด	เปิด	ปิด	ปิด
9 วัตต์	เปิด	ปิด	เปิด	เปิด	ปิด

จากตารางที่ 2 แสดงการปิด-เปิดใช้งาน ซึ่งหลอดไฟทั้งสองถูกใช้งานในช่วงเวลา 09:00 - 11:59 น. และ 13:00 – 16:59 น. และหลอดไฟปิดใช้งานในช่วงเวลา 12:00 - 13:00 น. และ 13:01 - 17:59 น. หลังช่วงเวลา 18:00 - 06:00 น. จะทดสอบเปิดหลอดไฟขนาด 9 วัตต์เพียงหลอดเดียว และช่วงเวลา 06:01 - 08:59 น. หลอดไฟทั้ง 2 ปิดใช้งาน



ภาพที่ 5 ช่วงเวลาผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์กับการใช้งานหลอดไฟฟ้าในช่วงเวลา On-Peak เฉลี่ย 30 วัน

จากภาพที่ 5 แสดงให้เห็นว่าช่วงเวลาผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ (PV) เริ่มต้นที่เวลาเฉลี่ย 07:00 - 17:30 น. สามารถผลิตไฟฟ้าได้ 0.68 kWh โดยพยายามใช้เซลล์แสงอาทิตย์จ่ายโหลดใช้งานในช่วงเวลา On-Peak คือ 09:00 - 22:00 น. แต่เซลล์แสงอาทิตย์ไม่สามารถจ่ายในช่วงเวลา On-Peak ได้ทั้งหมด ซึ่งพลังงานรวมทั้งวันคือ 0.785 kWh ดังนั้นทำให้มีการใช้ไฟจาก PEA (การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค) เข้ามาช่วยจำนวน 0.185 kWh จึงอธิบายได้ว่าระบบเซลล์แสงอาทิตย์ที่ได้ออกแบบไว้ช่วยลดการใช้ไฟฟ้า 76.4 %



ภาพที่ 6 กราฟแรงดันไฟฟ้าของแบตเตอรี่จากระบบผลิตไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์เฉลี่ย 30 วัน

จากภาพที่ 6 พิจารณาตามกราฟ แบ่งออกเป็นทั้ง 10 จุด ดังนี้

จุดที่ 1 เวลา 06:26 - 08:56 น. มีการชาร์จแบตเตอรี่จากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ (มีแสงแดด) จากแรงดันไฟฟ้า 12.04 V เพิ่มขึ้นเป็น 12.64 V และช่วงเวลานี้ยังไม่มีการเปิดเครื่องใช้ไฟฟ้า

จุดที่ 2 เวลา 10:03 น. แรงดันไฟฟ้าลดลงเหลือ 11.9 V เนื่องจากมีการใช้ไฟฟ้าเริ่มตั้งแต่เวลา 9:00 น.

จุดที่ 3 เวลา 10:22 น. ชาร์จไฟฟ้าเข้าแบตเตอรี่จากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ (Charge) แรงดันไฟฟ้าอยู่ที่ 12.55 V

จุดที่ 4 เวลา 11:00 น. ใช้ไฟฟ้าจากแบตเตอรี่ (Discharge) แรงดันไฟฟ้าของแบตเตอรี่จึงเหลือ 11.89 V

จุดที่ 5 เวลา 11:30 น. แบตเตอรี่จะถูกชาร์จไฟฟ้าเข้าจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ (Charge) จนแรงดันไฟฟ้าอยู่ที่ 12.66 V

จุดที่ 6 เวลา 12:00 น. ใช้ไฟฟ้าจากแบตเตอรี่ (Discharge) แรงดันไฟฟ้าของแบตเตอรี่จึงเหลือ 12.27 V

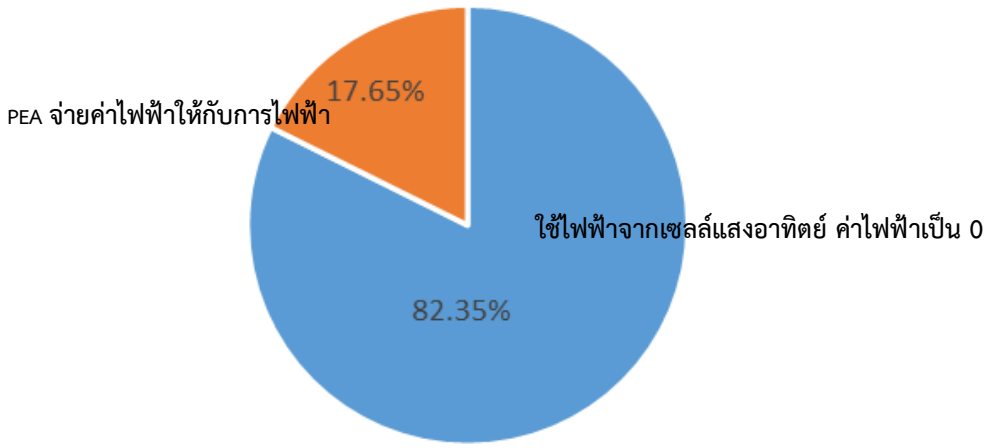
จุดที่ 7 เวลา 13:00 น. แบตเตอรี่จะถูกชาร์จเข้าอีกครั้ง (Charge) แรงดันไฟฟ้าอยู่ที่ 12.91 V ไม่มีการใช้ไฟฟ้าจากโหลด

จุดที่ 8 เวลา 13:44 น. ใช้ไฟฟ้าจากแบตเตอรี่ (Discharge) แบตเตอรี่ลดลงเหลือ 12.37 V ถึงแม้มีการใช้แบตเตอรี่แต่แบตเตอรี่ในช่วงนี้ลดลงไม่มากเนื่องจากมีแสงแดดที่ทำให้ แผงเซลล์แสงอาทิตย์ผลิตได้มากพอและเหลือชาร์จกลับเข้าแบตเตอรี่

จุดที่ 9 เวลา 17:25 น. จากนั้นแบตเตอรี่จะถูกชาร์จ (Charge) ขึ้นไป 12.82 V

จุดที่ 10 เวลา 22:55 น. มีการจ่ายไฟฟ้าให้หลอดไฟอีกครั้งจนถึงเวลา แบตเตอรี่ลดลงเหลือ 12.28 V

การใช้ระบบการจัดการพลังงานไฟฟ้าร่วมกับพลังงานแสงอาทิตย์เพื่อลดการใช้พลังงานตามอัตราช่วงเวลาของการใช้งาน นั้นสามารถคำนวณการใช้ไฟฟ้าด้วยอัตราค่าไฟฟ้าตามช่วงเวลา ช่วงเวลา On–Peak (09:00–22:00 น.) คิดค่าไฟหน่วยละ 5.6 บาท และ ในช่วง Off – Peak (22:00 – 09:00 น.) คิดหน่วยละ 2.6 บาท การคำนวณค่าไฟฟ้า 30 วัน (1 เดือน) แสดงผลในภาพที่ 7



ภาพที่ 7 ค่าไฟฟ้าที่ต้องจ่ายเมื่อใช้ระบบจัดการบริหารตามช่วงเวลา (TOU) เฉลี่ย 30 วัน

จากภาพที่ 7 แสดงตัวเลขค่าไฟฟ้าที่ต้องจ่ายเมื่อใช้ระบบจัดการบริหารตามช่วงเวลา มีการใช้พลังงานไฟฟ้า รวมเท่ากับ 4.08 บาท ต้องจ่ายค่าไฟฟ้าให้กับการไฟฟ้า (PEA) ในช่วง On – Peak เท่ากับ 0.44 บาท ในช่วง Off – Peak 0.28 บาท รวมคิดเป็น 17.65% และค่าไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ เท่ากับ 3.36 บาท คิดเป็น 82.35% ดังนั้น ระบบที่ออกแบบไว้จะจ่ายค่าไฟเพียง 0.72 บาท

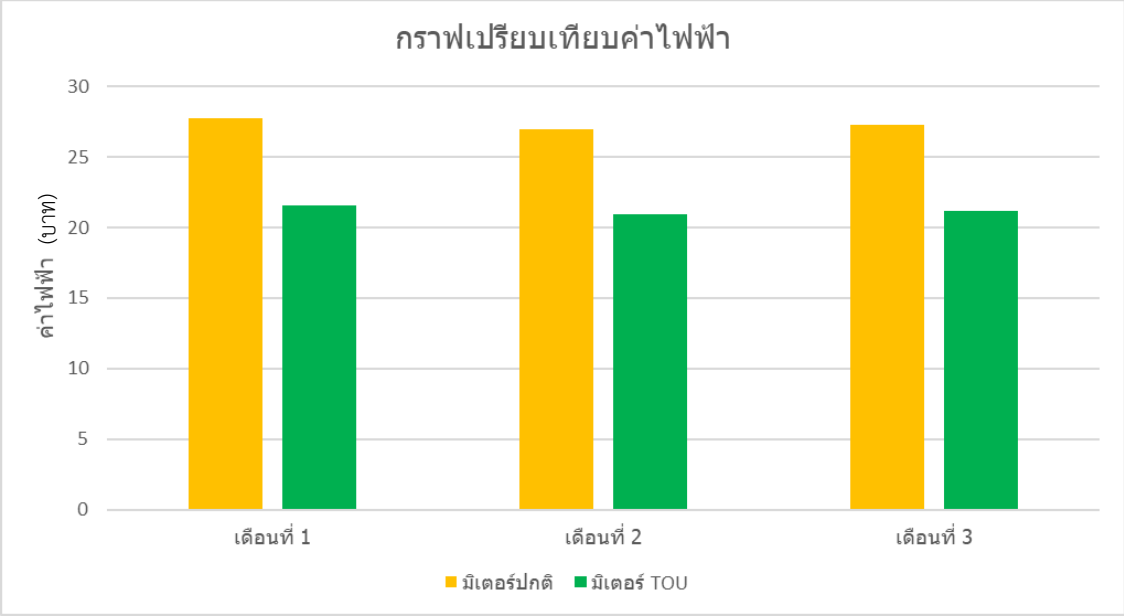
ทำการทดลองการใช้ระบบการจัดการพลังงานไฟฟ้าร่วมกับพลังงานแสงอาทิตย์เพื่อลดการใช้พลังงานตามอัตราช่วงเวลาของการใช้งานระยะเวลา 3 เดือน ผลการทดลองแสดงดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ผลการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์และการใช้ไฟฟ้าจาก PEA เพื่อลดการใช้พลังงานไฟฟ้า 3 เดือน

เดือน	พลังงานรวม (kWh)	การไฟฟ้า (kWh)	เซลล์แสงอาทิตย์ (kWh)	การไฟฟ้า (%)	เซลล์แสงอาทิตย์ (%)
เดือน 1	23.66	5.56	18.10	23.5	76.5
เดือน 2	23.54	5.46	18.08	23.2	76.8
เดือน 3	23.37	5.54	17.83	23.7	76.3
รวม	**70.57**	**16.56**	**54.01**	**23.47**	**76.53**
ค่าเฉลี่ย	**23.52**	**5.52**	**18:00**	**23.47**	**76.53**

จากตารางที่ 3 แสดงการใช้พลังงานรวม การใช้ไฟฟ้าจาก PEA การผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์เพื่อลดการใช้พลังงาน 3 เดือน ซึ่งจะเห็นได้ว่า การใช้พลังงานรวมเฉลี่ย เท่ากับ 23.52 kWh โดยใช้พลังงานไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ที่ผลิตได้ เฉลี่ยเท่ากับ 18 kWh คิดเป็น 76.53% และไฟฟ้าที่ต้องใช้จาก PEA เฉลี่ยเท่ากับ 5.52 kWh คิดเป็น 23.47%

ผลการจัดการระบบการจัดการพลังงานไฟฟ้าร่วมกับพลังงานแสงอาทิตย์เพื่อลดการใช้พลังงานตามอัตราช่วงเวลาของการใช้งาน (TOU)



ภาพที่ 8 ค่าไฟฟ้าระหว่างการใช้มิเตอร์ปกติและมิเตอร์ TOU 3 เดือน

จากภาพที่ 8 เป็นการเปรียบเทียบค่าไฟฟ้าเมื่อใช้ระบบการจัดการพลังงานไฟฟ้าร่วมกับพลังงานแสงอาทิตย์ระหว่างมิเตอร์ปกติและมิเตอร์ TOU เมื่อออกแบบการใช้ไฟฟ้าให้มีความสอดคล้องกับช่วงเวลา On – Peak และ Off – Peak จะเห็นว่าการใช้มิเตอร์ TOU สามารถลดค่าไฟฟ้าลงเมื่อเทียบกับการใช้หม้อปกติซึ่งค่าไฟมิเตอร์ปกติคิดที่หน่วยละ 5 บาท มิเตอร์ TOU Peak หน่วยละ 5.6 บาท Off Peak หน่วยละ 2.6 บาท

ตารางที่ 4 ผลการเปรียบเทียบค่าไฟฟ้าจากการใช้ระบบการจัดการพลังงานไฟฟ้าร่วมกับพลังงานแสงอาทิตย์ระหว่างมิเตอร์ธรรมดาและมิเตอร์ TOU 3 เดือน

เดือน	ค่าไฟฟ้า (บาท)		หน่วยการใช้ (kWh)		
	มิเตอร์		On - Peak		Off - Peak
	Normal	TOU	PEA	PV	PEA
1	27.75	21.54	2.37	18.1	3.18
2	27	20.97	2.31	17.4	3.09
3	27.25	21.19	2.34	17.7	3.11
ค่าเฉลี่ย	27.33	21.23	2.34	17.73	3.13
รวม	82.00	63.70	7.02	53.20	9.38

จากตารางที่ 4 สามารถอธิบายได้ว่าหากใช้มิเตอร์ TOU เดือนที่ 1 จะลดค่าไฟลง เท่ากับ 6.21 บาท เดือนที่ 2 เท่ากับ 6.03 บาท และเดือนที่ 3 เท่ากับ 6.06 บาท เมื่อเฉลี่ย 3 เดือนจะอยู่ที่ 21.23 บาท จาก 27.33 บาท ดังนั้นสรุปได้ว่าการจัดการพลังงานไฟฟ้าร่วมกับพลังงานแสงอาทิตย์ระหว่างมิเตอร์ปกติและมิเตอร์ TOU ช่วยลดค่าไฟลง 18.3 บาท หรือ 22.32 %

ความคุ้มค่าในการใช้พลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับระบบการใช้พลังงานไฟฟ้าจากสายส่งเพื่อลดการใช้พลังงานตามอัตราช่วงเวลาของการใช้งาน (TOU)

ในการหาคาความคุ้มค่าในการใช้พลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับระบบการใช้พลังงานไฟฟ้าจากสายส่งเพื่อลดการใช้พลังงานตามอัตราช่วงเวลาของการใช้งาน (TOU) จะนำผลจากการคำนวณซึ่งได้จากการตั้งเวลาการใช้ไฟฟ้า และ ช่วงเวลาของ On-peak และ Off-peak มาเทียบกับปฏิทินวันหยุด โดยการคำนวณในครั้งนี้ จะเริ่มจากการใช้ไฟฟ้าในรายวัน และค่าจากรายวันมาคำนวณเป็นรายเดือน ซึ่งแต่ละเดือนจะมีจำนวนวันและวันหยุดไม่เท่ากัน หลังจากคำนวณเป็นรายเดือนนำค่ามาคำนวณเป็นรายปี เทียบกับปฏิทินวันหยุดซึ่งจะคำนวณความคุ้มค่า 15 ปี ตามการรับประกันอุปกรณ์ เริ่มจาก ปี 2567 ถึง ปี 2581

ตัวแปรสำคัญในการคำนวณความคุ้มค่าในการใช้พลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับการใช้พลังงานไฟฟ้าเพื่อลดการใช้พลังงานตามอัตราช่วงเวลาของการใช้งาน (TOU) คือต้นทุนการติดตั้งและค่าบำรุงรักษาและค่าตอบแทน ซึ่งการทดลองนี้ มีค่าใช้จ่ายทั้งสิ้น 10,600 บาท

การหาผลตอบแทน

การหาผลตอบแทนโดยการนำค่าการประหยัดค่าไฟฟ้าในช่วง TOU ปกติ มาลบด้วย การเสียค่าไฟฟ้าของระบบนำข้อมูลการใช้พลังงานไฟฟ้าของหลอดไฟฟ้า 2 หลอด ขนาดอ 100 W และ 9 W มาทำการคำนวนเทียบกับวันทำงาน และวันหยุด ต่อวัน ตารางแสดงช่วง Off-Peak และ On-Peak เทียบความต้องการการใช้ไฟฟ้า แสดงดังตารางที่ 5

ตารางที่ 5 ตารางแสดงการคำนวนการใช้ไฟฟ้าและความต้องการการใช้ไฟฟ้า 24 ชั่วโมงตามอัตรา TOU

เวลา	วันทำงาน		วันหยุด	
	ช่วง TOU	กำลังไฟฟ้า (kW)	ช่วง TOU	กำลังไฟฟ้า (kW)
1:00 น.	Off Peak	0.000	Off Peak	0.000
2:00 น.	Off Peak	0.009	Off Peak	0.009
3:00 น.	Off Peak	0.009	Off Peak	0.009
4:00 น.	Off Peak	0.009	Off Peak	0.009
5:00 น.	Off Peak	0.009	Off Peak	0.009
6:00 น.	Off Peak	0.000	Off Peak	0.000
7:00 น.	Off Peak	0.000	Off Peak	0.000
8:00 น.	Off Peak	0.000	Off Peak	0.000
9:00 น.	Peak	0.109	Off Peak	0.109
10:00 น.	Peak	0.109	Off Peak	0.109
11:00 น.	Peak	0.109	Off Peak	0.109
12:00 น.	Peak	0.009	Off Peak	0.009
13:00 น.	Peak	0.109	Off Peak	0.109
14:00 น.	Peak	0.109	Off Peak	0.109
15:00 น.	Peak	0.109	Off Peak	0.109
16:00 น.	Peak	0.109	Off Peak	0.109
17:00 น.	Peak	0.109	Off Peak	0.109
18:00 น.	Peak	0.009	Off Peak	0.009
19:00 น.	Peak	0.009	Off Peak	0.009
20:00 น.	Peak	0.009	Off Peak	0.009
21:00 น.	Peak	0.009	Off Peak	0.009
22:00 น.	Off Peak	0.009	Off Peak	0.009
23:00 น.	Off Peak	0.009	Off Peak	0.009
0:00 น.	Off Peak	0.009	Off Peak	0.009
Demand Peak (ความต้องการไฟฟ้าสูงสุด)				
Peak	วันทำงาน	0.109 kW	Holiday วันหยุด	0.109 kW
Off Peak		0.009 kW		

เวลา	วันทำงาน		วันหยุด	
	ช่วง TOU	กำลังไฟฟ้า (kW)	ช่วง TOU	กำลังไฟฟ้า (kW)
ผลรวมการใช้พลังงานไฟฟ้า				
Peak	วันทำงาน	0.917 kWh	Holiday วันหยุด	0.98 kWh
Off Peak		0.063 kWh		

จากตารางที่ 5 แสดงข้อมูลการใช้ไฟฟ้าตลอด 24 ชั่วโมง นำค่าความต้องการไฟฟ้าสูงสุด (Demand Peak) ช่วง Peak คือ 0.109 kW ช่วง Off Peak คือ 0.009kW และวันหยุด 0.109 kW ผลรวมค่าไฟฟ้าใช้ต่อวัน ช่วง Peak คือ 0.917 kWh ช่วง Off Peak คือ 0.063 kWh และวันหยุด 0.98 kWh นำข้อมูลไปคำนวณเพื่อหาอัตราการใช้ไฟฟ้าต่อปี ซึ่งผู้วิจัยวิเคราะห์จำนวนวันทำงาน และวันหยุดโดยตั้งจากปฏิทิน ปี 2567 ถึง ปี 2581 ข้อมูลแสดงจำนวนวันหยุดของปี 2567 ถึง ปี 2581 โดยการนำจำนวนวันทำงานและวันหยุดมาคำนวนหาค่าไฟฟ้าร่วมค่าความต้องการการใช้ไฟฟ้าสูงสุด และผลรวมการใช้พลังงานไฟฟ้าตัวอย่างการคิดค่าไฟฟ้าตามอัตราค่าไฟฟ้า TOU ตัวอย่างบิลค่าไฟฟ้า อัตรา TOU ประเภทที่ 4 กิจการขนาดใหญ่ แรงดันไฟฟ้า 22- 33 kV ค่าความต้องการพลังงานไฟฟ้า 132.93 ค่าบริการ 312.24

คำนวนทั้ง 12 เดือน รวมเป็นผลการเสียค่าไฟฟ้าในปี พ.ศ. 2567 และ คำนวณเช่นเดียวกันนี้จนครบ จนถึงปี 2581 เวลา 15 ปี ข้อมูลการใช้ไฟฟ้ามาคำนวณเทียบกับจำนวนของวันหยุด นำมาคำนวณเป็นค่าไฟฟ้ารายปีและรวมผลตอบแทนดังตารางที่ 6 เพื่อค่าผลตอบแทนของการลงทุน

ตารางที่ 6 แสดงค่าผลตอบแทนของการลงทุน

ปีที่	ค่าไฟฟ้าอัตรา TOU (บาท)	ค่าไฟของระบบ (บาท)	ผลการประหยัดไฟ (บาท)	รวมผลตอบแทน (บาท)
0				
1	9,119.50	4,139.49	4,980.00	4,980.00
2	9,518.49	4,143.63	5,374.86	5,374.86
3	9,562.31	4,144.76	5,417.56	5,417.56
4	9,613.47	4,142.49	5,470.98	5,470.98
5	9,630.53	4,141.19	5,489.34	5,489.34
6	9,630.53	4,141.19	5,489.34	5,489.34
7	9,647.58	4,140.25	5,507.34	5,507.34
8	9,596.42	4,142.69	5,453.73	5,453.73
9	9,613.47	4,142.12	5,471.35	5,471.35
10	9,596.42	4,142.88	5,453.54	5,453.54
11	9,647.58	4,140.80	5,506.78	5,506.78
12	9,664.64	4,139.68	5,524.96	5,524.96
13	9,596.42	4,143.06	5,453.36	5,453.36
14	9,664.64	4,139.49	5,525.14	5,525.14
15	9,647.58	4,140.25	5,507.34	5,507.34

นำค่าลงทุน ค่าผลตอบแทน โดยวิเคราะห์ค่าดังต่อไปนี้

1) ระยะเวลาคืนทุนโครงการ (Payback Period: PBP)

เมื่อผลประโยชน์สุทธิต่อปี $= \frac{\text{ผลรวมประโยชน์สุทธิ}}{\text{จำนวนปีของโครงการ}} = \frac{\mathbf{74,247.70}}{\mathbf{15}} = 4,949.85$

$$\text{ระยะคืนทุน(ปี)} = \frac{10,600.00}{4,949.85} = 2.14 \text{ ปี}$$

ระยะเวลาคืนทุน (ปี) = 2.14 ปี

2) อัตราส่วนผลตอบแทนต่อต้นทุน (B/C Ratio) โดยพิจารณาจากการดำเนินงานมีค่า เท่ากับหรือมากกว่า 1 เนื่องจากการที่ได้รับผลตอบแทนต่อทุนสูงกว่าเงินลงทุน ก่อให้เกิดผลประโยชน์หรือกำไรเกิดขึ้น จึงมีเหมาะสมในการพิจารณาตัดสินใจเพื่อลงทุนมีค่าเท่ากับ 3.54

3) มูลค่าปัจจุบันของผลตอบแทนสุทธิ (NPV) โดยพิจารณาจากการดำเนินงานมีค่า มากกว่า 0 โดยส่วนที่เป็นบวกจะเป็นส่วนของค่าตอบแทนของผู้ลงทุน แสดงว่าการลงทุนดังกล่าวให้ผลคุ้มค่า

NPV = 74,247.70 - 10,600.00 = 63,647.70 บาท

4) อัตราส่วนผลตอบแทนภายในโครงการ (IRR) โดยพิจารณาจากการดำเนินงานมีค่า สูงกว่าต้นทุนของเงินทุนหรืออัตราดอกเบี้ยเงินทุน เท่ากับ 46.97%

ตารางที่ 7 วิเคราะห์ความคุ้มค่าทางด้านเศรษฐศาสตร์ จากการจัดการแบตเตอรี่ที่เหมาะสมต่อการจำหน่ายไฟฟ้าปลีก

ระยะเวลาคืนทุน (ปี) (Payback Period: PBP)	2.14 ปี	คืนทุนปีที่ 2
อัตราส่วนผลตอบแทนต่อต้นทุน (B/C Ratio)	3.54	มีค่ามากกว่า 1
มูลค่าปัจจุบันของผลตอบแทนสุทธิ (NPV)	63,647.70 บาท	มีค่ามากกว่า 0
อัตราส่วนผลตอบแทนภายในโครงการ (IRR)	46.97%	สูงกว่าอัตราดอกเบี้ยเงินทุน 6.6%

สรุปผลการวิจัย

การออกแบบและพัฒนาระบบการจัดการพลังงานไฟฟ้าร่วมกับพลังงานแสงอาทิตย์เพื่อลดการใช้พลังงานตามอัตราช่วงเวลาของการใช้งาน(TOU) เพื่อลดการใช้พลังงานตามอัตราช่วงเวลาของการใช้งาน (TOU) และความคุ้มค่าในการใช้พลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับการใช้พลังงานไฟฟ้าเพื่อลดการใช้พลังงาน ในช่วงระยะเวลา 3 เดือน จากผลการทอลองพบว่าแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ระบบไฮบริดช่วยลดการใช้ไฟฟ้าลง 76.53 % และจากผลการทดสอบประสิทธิภาพระบบการจัดการพลังงานไฟฟ้าร่วมกับพลังงานแสงอาทิตย์เพื่อลดการใช้พลังงานตามอัตราช่วงเวลาของการใช้งาน (TOU) พบว่า ถ้ามีระบบการจัดการพลังงานไฟฟ้าร่วมกันร่วมกับพลังงานแสงอาทิตย์เพื่อลดการใช้พลังงานตามอัตราช่วงเวลาของการใช้งาน(TOU) จะทำให้ลดค่าไฟฟ้าลงอีก 22.32 % ระยะเวลาคืนทุน (ปี) (Payback Period: PBP) คืนทุนปีที่ 2.14 อัตราส่วนผลตอบแทนต่อต้นทุน (B/C Ratio) 3.54 มีค่ามากกว่า 1 มูลค่าปัจจุบันของผลตอบแทนสุทธิ (NPV) 63,647.70 บาท มีค่ามากกว่า 0

อัตราส่วนผลตอบแทนภายในโครงการ (IRR) 46.97 % สูงกว่าอัตราดอกเบี้ยเงินทุน 6.6 %ดังนั้น ระบบการจัดการพลังงานไฟฟ้าร่วมกับพลังงานแสงอาทิตย์เพื่อลดการใช้พลังงานตามอัตราช่วงเวลาของการใช้งานที่พัฒนาขึ้นเป็นระบบการจัดการพลังงานร่วมกับพลังงานแสงอาทิตย์ที่ไม่เพียงแต่ช่วยลดค่าใช้จ่ายในการไฟฟ้าเท่านั้น แต่ยังส่งเสริมการใช้พลังงานทดแทน ลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม และเสริมสร้างนวัตกรรมและวิจัยในวงการพลังงานอย่างต่อเนื่องด้วย ทำให้เป็นทางเลือกที่ยอดเยี่ยมสำหรับการจัดการพลังงานในอนาคต

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณโปรแกรมวิชาเทคโนโลยีพลังงาน คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรมที่สนับสนุนอุปกรณ์เครื่องมือ สถานที่สวนพลังงานในการเก็บข้อมูลงานวิจัย ขอบคุณอาจารย์ที่ปรึกษาอาจารย์ภาคิณ มณีโชติ อาจารย์นิวดี คลังสีดา และ เทพ เกื้อทวีกุล ที่ให้คำปรึกษาและคำแนะนำในการทำวิจัยครั้งนี้สำเร็จลุล่วงด้วยดี

เอกสารอ้างอิง

[1] ปฏิพัทธ์ ทวนทอง. (2555). **แหล่งจ่ายไฟร่วมโดยเซลล์เชื้อเพลิง โซล่าเซลล์ กังหันลมและแบตเตอร์รี่**. รายงานวิจัย. สำนักงานคณะกรรมการส่งเสริมวิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม.

[2] วินัย แสนจันทร์. (2560). **เครื่องกำเนิดไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ขนาดเล็ก.** รายงานวิจัย. วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีปทุม.

[3] กฤษณะ จันทสิทธิ์. (2565). **ระบบผลิตกระแสไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์แรงดันสูงควบคุมระยะไกล สำหรับลดค่ากระแสไฟฟ้าในครัวเรือน**. รายงานวิจัย. มหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี. จังหวัดจันทบุรี.

[4] ศรายุทธ์ จิตรพัฒนากุล. (2560). **พัฒนาระบบสาธิตผลิตกระแสไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์สำหรับชุมชนฐานรากระดับครัวเรือน.** รายงานวิจัย. มหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี. จังหวัดจันทบุรี.

[5] ภาคิณ มณีโชติ, วัชระ วงค์ปัญโญ, และบุญวัฒน์ วิจารณ์พล. (2563). การพัฒนาสมาร์ตมิเตอร์สำหรับการใช้ในการจัดการพลังงานไฟฟ้า ในศูนย์พลังงาน มหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร. **วารสารวิชาการ มหาวิทยาลัยราชภัฏอุตรดิตถ์ สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (เพื่อการพัฒนาท้องถิ่น)**, 15(1), 51-66.

[6] สมพล โคศรี. (2554). **ระบบควบคุมและจัดการพลังงานสมาร์ตกริดสำหรับระบบผลิตไฟฟ้าแบบแยกเดี่ยวจากพลังงานทดแทน**. (วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต). มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี, ปทุมธานี.

[7] ยอดธง เม่นสิน, นิพนธ์ เกตุจ้อย, วิสุทธิ์ แซ่มสะอาด, ธวัช สุริวงษ์, พรทิพย์ เม่นสิน, มาลินี แก้วปัญหา, พัชรินทร์ เยาวรัตน์, และประพิธาริ์ ธนารักษ์. (2565). เทคโนโลยีสมาร์ทกริดกับการเปลี่ยนผ่านพลังงานไปสู่ความเป็นกลางทางคาร์บอน. **วารสารนวัตกรรมการเรียนรู้และเทคโนโลยี**, 2(2), 10-26.

[8] วัชระ มั่งวิทิตกุล. (2550). **กระบวนการและเทคนิคการลดค่าใช้จ่ายพลังงานสำหรับอาคารและโรงงานอุตสาหกรรม (**พิมพ์ครั้งที่ 3). กรุงเทพฯ: บริษัท เรียล ยู พาวเวอร์ จำกัด.